

DEGRADASI ZAT WARNA *METANIL YELLOW* DENGAN PENYINARAN MATAHARI DAN PENAMBAHAN KATALIS $\text{TiO}_2\text{-SnO}_2$

Bhayu Gita Bhernama

Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh

Prof. Safni dan Dr. Syukri

FMIPA Universitas Andalas Padang

E_mail: deta.chavez1678@gmail.com

Abstract

Degradation of Methanil yellow has been done. In this research the degradation process was done by sunlighting and using $\text{TiO}_2\text{-SnO}_2$ catalysis. The residu of methanil yellow was centrifuged and measured by UV/Vis Spectrophotometer at λ 300 – 600 nm after degradation. 6 mg/L of Methanil yellow and addition of 0,03 g $\text{TiO}_2\text{-SnO}_2$ for 150 min, gave the percentage of degradation 98,413% after lighted by sun with $1,13256 \times 10^{15}$ foton cm^{-2}/s intensity.

Keywords: *Methanil Yellow, Sunlighting, and $\text{TiO}_2\text{-SnO}_2$ Catalysis*

PENDAHULUAN

Pada zaman modern sekarang ini begitu banyak perkembangan di bidang industri salah satunya adalah perkembangan dibidang industri tekstil. Perkembangan industri tekstil berdampak pada kualitas lingkungan hidup yang semakin hari semakin buruk, salah satu dampaknya adalah dari limbah cair yang dihasilkan oleh industri tekstil tersebut. Limbah cair yang dihasilkan berupa limbah zat warna yang merupakan senyawa organik non-biodegradable yang mengandung senyawa azo dan bersifat sangat karsinogenik. Senyawa organik non-biodegradable ini dapat menyebabkan pencemaran lingkungan [1]. Saat ini telah dikembangkan berbagai penanggulangan limbah zat warna, seperti metoda adsorpsi, akan tetapi metoda ini kurang efektif dan menimbulkan masalah baru [2].

Salah satu pencemaran zat warna adalah zat warna yang umumnya terbuat dari senyawa azo dan turunannya yang merupakan gugus benzene, yaitu *metanil yellow* [$\text{C}_{18}\text{H}_{14}\text{N}_3\text{O}_3\text{SNa}$]. *Metanil yellow* dapat menyebabkan iritasi pada mata jika dikonsumsi dalam jangka panjang. *Metanil yellow* juga bertindak sebagai *tumor promoting agent* dan dapat menyebabkan kerusakan hati [3]. Oleh karena itu limbah zat warna methanil yellow perlu dilakukan pengolahan sebelum dilepaskan ke lingkungan. Sebagai alternatif dikembangkan metoda fotodegradasi dengan menggunakan bahan fotokatalis dan irradiasi UV [3]. Fotodegradasi zat warna dengan penambahan TiO_2 sebagai katalis telah banyak dilakukan, seperti zat warna alizarin S dan naphthol blue black [1-3]. TiO_2 saat ini sangat berkembang, karena titania yang digunakan tidak hanya senyawa murninya saja tapi dimodifikasi dengan penyisipan logam lain (doping) baik kation atau anion dalam jumlah

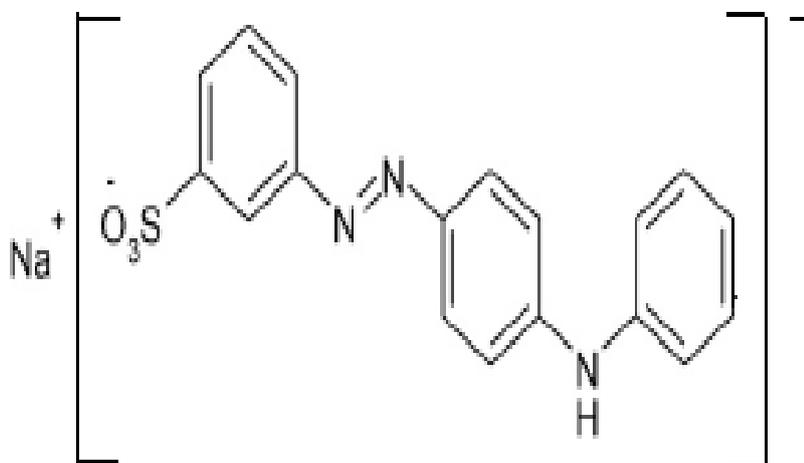
kecil yang mampu merubah sifat material induknya. Beberapa penelitian tentang logam di-doping pada TiO_2 pernah dilakukan, seperti logam Ni, Cu, Zn, La, Fe, Pt, Pd dan Ag, baik dalam bentuk powder atau dalam bentuk lapisan tipis. TiO_2-SnO_2 ini telah berhasil disintesis dan diuji coba terhadap degradasi zat warna biru metilen dan Rhodamin B Selanjutnya dicoba terhadap degradasi zat warna *metanil yellow* dengan penyinaran matahari [5].

Pada penelitian ini digunakan *metanil yellow* sebagai zat warna dan modifikasi semikonduktor TiO_2-SnO_2 sebagai katalis. Larutan sisa *metanil yellow* dianalisis menggunakan spektroskopi UV/Vis. Dengan tujuan untuk mengetahui berapa persen *metanil yellow* yang dapat didegradasi secara fotolisis, sonolisis dan penyinaran sinar matahari dengan menggunakan katalis TiO_2-SnO_2 terhadap variasi waktu degradasi dan menghasilkan limbah zat warna yang ramah lingkungan.

TINJAUAN PUSTAKA

1. Metanil Yellow

Metanil yellow [$C_{18}H_{14}N_3O_3SNa$] merupakan pewarna golongan azo, dimana dalam strukturnya terdapat ikatan $N=N$ (Gambar 1) dengan nama kimia adalah Natrium 3-[(4-N-phenylamino)phenylazo]benzene sulfonat dan garam natrium dari metanilyazodiphenilamine. Metanil yellow dengan warna kuning dibuat dari asam metanilat dan difenilamin.[3]



Gambar 1 : Struktur kimia *metanil yellow*

Metanil yellow adalah zat warna sintetik yang berbentuk serbuk berwarna kuning kecoklatan, larut dalam air, dan agak larut dalam aseton [3]. *Metanil yellow* merupakan senyawa kimia azo aromatik amin yang dapat menyebabkan tumor dari berbagai jaringan hati, kandung kemih, saluran pencernaan, atau jaringan kulit. Metanil kuning yang dibuat dari asam metanilat dan difenilamin ini bersifat toksik [4]. *Metanil yellow* merupakan pewarna tekstil yang sering disalahgunakan sebagai pewarna makanan. Pewarna tersebut bersifat sangat

stabil. *Metanil yellow* biasa digunakan untuk mewarnai wool, nilon, kulit, kertas, cat, alumunium, detergen, kayu, bulu, dan kosmetik. Pewarna ini merupakan *tumor promoting agent* [3-4].

2. Zat warna

Molekul zat warna merupakan gabungan dari zat organik tak jenuh dengan kromofor sebagai pembawa zat warna dan aoksokrom sebagai pengikat warna dengan serat. Zat organik tak jenuh sering ditemui adalah senyawa hidrokarbon dan turunannya dalam bentuk senyawa aromatik, fenol dan turunannya serta senyawa hidrokarbon mengandung nitrogen. Gugus kromofor adalah gugus yang memberikan warna sehingga molekul menjadi berwarna.. Penggolongan zat warna berdasarkan sistem kromofornya misalnya zat warna azo, antrakuinon, ftalosa, nitroso, indigo, benzodifuran, okozin, polimetil, Di dan Tri aril, karbonium, polisiklik, aromatik karbonil, quionftalen, sulder, nitro, nitrozol [6].

3. Titanium dioksida

Titanium dioksida (TiO_2) titania adalah suatu zat padat berupa serbuk putih, bersifat amfoter dan sulit larut dalam air. Titanium dioksida merupakan material yang sering digunakan sebagai katalis untuk dekomposisi senyawa-senyawa organik toksik, seperti pestisida, zat warna [7]. TiO_2 tersebut biasa terdapat dalam bentuk powder atau lapisan film tipis, dengan berat molekul 79,90 g/mol dimana kadar Ti 59,95% dan kadar O 40,05%. Titik leleh dari TiO_2 adalah 1870°C . TiO_2 tidak larut dalam HCl, HNO_3 , dan H_2SO_4 encer, tetapi larut dalam H_2SO_4 pekat [7].

TiO_2 juga merupakan salah satu katalis yang paling stabil. TiO_2 merupakan katalis yang paling sering digunakan dibandingkan dengan katalis lainnya dengan mempunyai sifat inert yang baik secara biologi, maupun secara kimia, stabil dan tahan terhadap korosi kimia selama reaksi berlangsung, serta relatif tidak mahal. Aktifitas katalitiknya dipengaruhi oleh struktur kristal, luas permukaan, distribusi ukuran partikel, porositas, densitas permukaan grup hidroksil, dan sebagainya. Struktur kristal titania terdiri dari anatase (tetragonal), rutile (tetragonal) dan brookite (ortorombik), namun yang memiliki aktivitas katalitik yang terbaik adalah anatase. Struktur anatase dapat disintesa dilaboratorium, tetapi brookite sangat sulit. Hal ini disebabkan karena proses pembentukan TiO_2 anatase dan rutile relative lebih mudah daripada brookite. Bentuk kristal anatase diamati terjadi pada pemanasan Ti^{+2} serbuk mulai dari suhu 120°C dan mencapai sempurna pada suhu 500°C . pada suhu 700°C mulai terbentuk karistal rutile dan terjadi penurunan luas permukaan serta pelemahan aktivitas katalis secara drastis [7].

Titanium oksida (TiO_2) adalah semikonduktor yang paling umum digunakan Karena TiO_2 bersifat semikonduktor, absorpsi sinar UV oleh titanium dioksida akan diikuti perpindahan electron pita valensi ke pita konduksi dimana terbentuk pasangan electron pada pita valensi (h^+_{pv}). Dengan pencahayaan Ultraviolet ($\lambda < 405 \text{ nm}$), permukaan TiO_2 mempunyai kemampuan menginisiasi reaksi kimiawi. Permukaan TiO_2 (bersifat semikonduktor) menghasilkan pasangan elektron dan hole positif pada permukaannya. Absorpsi sinar UV oleh titanium dioksida akan diikuti perpindahan elektron pita valensi ke pita konduksi dimana terbentuk pasangan elektron pada pita konduksi dimana terbentuk pasangan elektron pada pita konduksi (e^-_{pk}) dan lubang positif pada valensi (h^+_{pv}) [7].

Material semikonduktor telah digunakan secara luas sebagai fotokatalis dalam reaksi fotodegradasi yang heterogen dan sekarang telah diaplikasikan untuk mengurangi polusi lingkungan karena TiO_2 aman, efektif, dan menjanjikan untuk clean-up lingkungan. Titanium dioksida anatase merupakan fasa yang metastabil dan mempunyai aktivitas fotokatalitik yang lebih baik dibandingkan titanium oksida rutil [6].

Bahan semikonduktor TiO_2 memiliki selang energi yang kecil antara pita valensi dan pita konduksi. Untuk menghasilkan proses fotokatalisis, bahan semikonduktor membutuhkan serapan energi yang lebih besar dari selang energinya ($E_g = 3.2 \text{ eV}$) [8].

4. Timah Oksida

Timah oksida merupakan salah satu semikonduktor dengan band gap (E_g) 3,6. Ditemui dalam bentuk mineral kasiterit, memiliki berat molekul 150,71 g/mol, berbentuk bubuk berwarna putih, titik leleh 1630 °C, titik lebur 1800-1900 °C, struktur kristal rutil (tetragonal), timah oksida tidak larut dalam air tetapi larut dalam asam, dapat dihasilkan melalui logam timah yang dioksidakan pada titik lebur yang tinggi [7]

5. Spektrofotometer UV/VIS

Spektrofotometri merupakan suatu alat yang didasarkan pada pengukuran serapan sinar monokromatis suatu jalur larutan dengan menggunakan monokromator sistem prisma atau kisi difraksi dan detektor fotosel. Spektrofotometer terdiri dari spektrometer dan fotometer. Spektrometer menghasilkan sinar dari spektrum dengan panjang gelombang tertentu dan fotometer adalah alat pengukur intensitas cahaya yang ditransmisikan atau diabsorpsi. Jadi, Spektrofotometer digunakan untuk mengukur energi secara relative jika energi tersebut ditransmisikan, direfleksikan atau diemisikan sebagai fungsi gelombang. Radiasi elektromagnetik UV-Vis tersebut mempunyai panjang gelombang berkisar 200-800 nm. Sinar UV mulai dari 200-400 nm dan sinar tampak 400-800 nm.

Untuk pengukuran secara kuantitatif, metoda Spektrofotometri UV-Vis digunakan untuk menentukan konsentrasi larutan, dimana absorpsi sinar oleh larutan merupakan fungsi konsentrasi. Pada kondisi optimum, dapat dibuat hubungan linier secara langsung antara absorpsi larutan dan konsentrasi larutan tersebut. Persamaan yang menggambarkan hubungan linier tersebut dikenal dengan hukum Lambert-Beer, yaitu :

$$A = a.b.c$$

Keterangan: A = absorban
a = serapan spesifik ($\text{cm}^{-1}\text{M}^{-1}$)
b = lajur larutan (cm)
c = konsentrasi (M)

METODA PENELITIAN

1. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan antara lain Spektrofotometer UV/Vis (SIMANDSU, Sarcelles Perancis), lampu UV (Germicidal CE G 13 Base 8FC11004, $\lambda = 365 \text{ nm}$, 220 watt), Neraca analitik (AA- 200, Denver instrument Company), sentrifus, pipet takar, labu ukur, botol, thermometer, pH meter dan peralatan gelas lainnya.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain *Metanil yellow* (Merck Chemical Production), TiO_2 -anatase (Ishihara Sangyo, Ltd. Japan), SnO_2 (Merch), uranil asetat (Merch), asam oksalat (Merch), Natrium oksalat (Merch), kalium permanganat (Merch), dan akuades.

2. Pembuatan Larutan Standar

Metanil yellow sebanyak 0,100 gram dilarutkan dalam 100 mL aquadest untuk mendapatkan larutan induk *Metanil yellow* 1000 mg/L. Kemudian larutan induk *Metanil yellow* 1000 mg/L diencerkan menjadi 5 variasi konsentrasi 2, 4, 6, 8 dan 10 mg/L.

3. Prosedur Kerja

Pengukuran spektrum serapan metanil yellow

Kelima variasi konsentrasi larutan standar masing-masing diukur spektrum serapan dengan spektrofotometer UV/Vis pada λ maksimum 300-600 nm. Kemudian diambil data absorban pada panjang gelombang yang memberikan serapan maksimum

Penentuan waktu degradasi metanil yellow 6, 8 dan 10 mg/L dengan penynaran matahari

Larutan *metanil yellow* 6, 8, dan 10 mg/L dimasukan ke dalam petridish sebanyak 25 ml, kemudian disinari dengan sinar matahari pada beberapa variasi waktu yaitu 30, 60, 90, 120, dan 150 menit. Lalu diukur absorban dengan UV-VIS.

Degradasi zat warna metanil yellow 6, 8 dan 10 mg/L dengan penambahan katalis TiO_2-SnO_2

Larutan *metanil yellow* dengan konsentrasi 6, 8 dan 10 mg/L dimasukan masing-masing ke dalam petridish sebanyak 25 ml. Selanjutnya ditambahkan masing-masing 0,03 g TiO_2-SnO_2 . Larutan disinari dengan sinar matahari pada variasi waktu masing-masing selama 30, 60, 90, 120, dan 150 menit. Hasil penyinaran di sentrifus selama 20 menit untuk memisahkan TiO_2-SnO_2 dari larutan. Kemudian diukur spektrum serapan masing-masing larutan dengan spektrofotometer UV-Vis pada λ 300-600 nm. Kemudian diambil data absorban pada λ yang memberikan serapan maksimum.

Degradasi zat warna metanil yellow 6, 8 dan 10 mg/L dengan penambahan katalis TiO_2 -anatase

Larutan *metanil yellow* 6, 8, dan 10 mg/L dimasukan ke dalam petridish sebanyak 25 ml. Selanjutnya ditambahkan 0,03 g TiO_2 -anatase . Larutan disinari dengan sinar matahari selama 150 menit. Hasil penyinaran disentrifus selama 20 menit untuk memisahkan TiO_2 -anatase dari larutan. Kemudian diukur spektrum serapan masing-masing larutan dengan spektrofotometer UV/Vis pada λ 300-600 nm. Kemudian diambil data absorban pada λ maksimum yang memberikan serapan maksimum.

Degradasi zat warna metanil yellow 6, 8 dan 10 mg/L dengan penambahan katalis SnO_2

Larutan *metanil yellow* 6, 8, dan 10 mg/L dimasukan ke dalam petridish sebanyak 25 ml. Selanjutnya ditambahkan 0,03 g SnO_2 . Larutan disinari dengan sinar matahari selama 150 menit. Hasil penyinaran disentrifus selama 20 menit untuk memisahkan SnO_2 dari larutan. Kemudian diukur spektrum serapan masing-masing larutan dengan spektrofotometer UV/Vis pada λ 300-600 nm. Kemudian diambil data absorban pada λ maksimum yang memberikan serapan maksimum

Penentuan Intensitas Sinar Matahari

Penentuan intensitas sinar matahari dilakukan dengan menggunakan metoda aktinometri uranil oksalat. Adapun caranya sebagai berikut :

- a. 50 ml larutan *uranil asetat* 0,02 M (larutan A) ditambahkan 50 ml larutan *asam oksalat* 0,06 M (larutan B) perbandingan larutan A dan larutan B, 1 : 1).

- b. ml larutan campuran diatas dimasukan ke dalam erlenmeyer dan ditambahkan 3 tetes asam sulfat pekat lalu dipanaskan. Dalam keadaan panas dititrasi dengan larutan kalium permanganat 0,02 M sampai warna kalium permanganat tepat tidak hilang oleh pengocokan selanjutnya, lalu catat volume kalium permanganat yang terpakai (sebagai blanko).
- c. Selanjutnya 25 ml larutan campuran (a) diambil lagi dan dituangkan ke dalam petridish, sinari dengan sinar matahari selama 5 menit.
- d. ml larutan hasil penyinaran dimasukan ke dalam erlenmeyer, ditambahkan 3 tetes asam sulfat pekat dan dipanaskan. Dalam keadaan panas titrasi dengan kalium pemanganat sampai warna tepat tidak hilang oleh pengocokan selanjutnya, volume kalium permanganat yang terpakai dicatat.
- e. Berdasarkan selisih konsentrasi oksalat antara blanko (yang tidak disinari dengan larutan yang telah disinari maka besarnya intensitas sinar matahari dapat ditentukan.

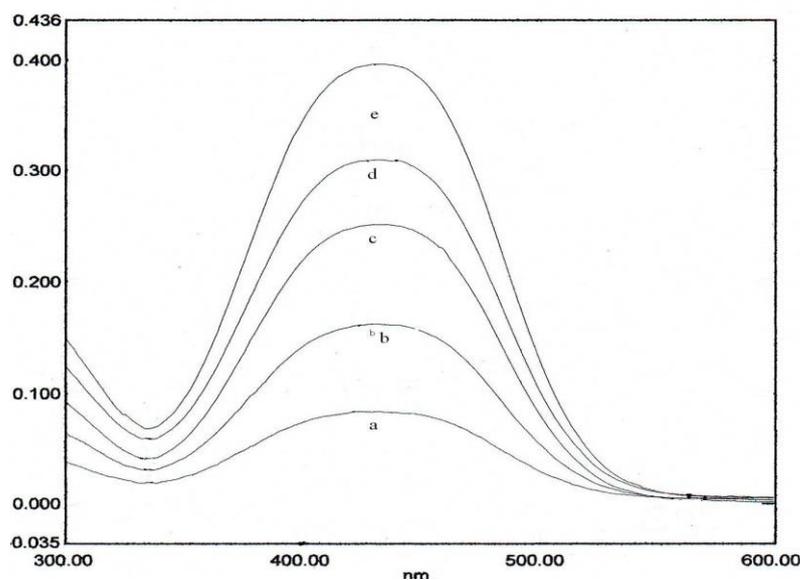
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran spektrum serapan methanil yellow

Pengukuran spectrum serapan *metanil yellow* pada konsentrasi pada konsetrasi 2, 4, 6, 8, dan 10 mg/L dalam pelarut air dengan menggunakan spektrofotometer UV/Vis (SIMANDSU) memperlihatkan puncak serapan maksimum pada panjang gelombang 430,4 nm. Serapan maksimum metanil yellow dapat dilihat pada gambar 2.

Berdasarkan nilai serapan dari *metanil yellow* pada hasil pengukuran spektrum UV-Vis dapat dihitung nilai absorbsitivitas molar (ϵ) dari metanil yellow. Perhitungan dilakukan berdasarkan Hukum Lambert Beer dengan tebal kuver (b) yang digunakan 1 cm dan konsentrasi metanil yellow 2, 4, 6, 8, 10 mg/L. Dari perhitungan didapat nilai absorbsitivitas molar (ϵ) *metanil yellow* adalah $14445,2996 \text{ L mol}^{-1}\text{cm}^{-1}$, ini menunjukkan kesensitifan pendeteksian yang cukup tinggi.

A



Panjang gelombang (nm)

Gambar 2. Spektrum serapan *metanil yellow* pada variasi konsentrasi.

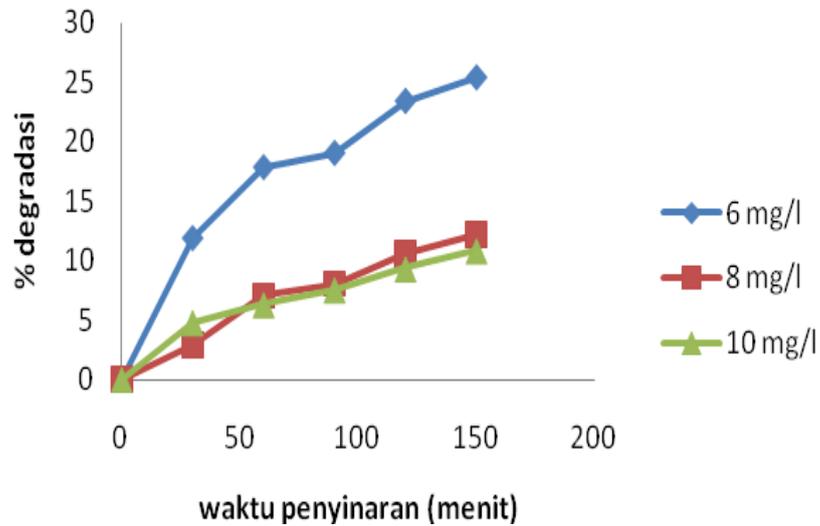
Ket: (a) *metanil yellow* 2 mg/L, (b) *metanil yellow* 4 mg/L, (c) *metanil yellow* 6 mg/L, (d) *metanil yellow* 8 mg/L, (e) *metanil yellow* 10 mg/L.

Berdasarkan hukum Lambert Beer nilai serapan *methanil yellow* pada hasil pengukuran spektrum UV/Vis antara 0,2 sampai dengan 0,8. Larutan *methanil yellow* yang disinari matahari dengan konsentrasi 6 mg/l; 8 mg/l dan 10 mg/l menghasilkan absorban 0,252 ; 0,310 ; 0,396.

Secara visual degradasi larutan *metanil yellow* dapat diamati dengan mengamati perubahan warna dari warna kuning menjadi warna kuning yang lebih muda. Perubahan warna ini baru dapat dilihat setelah dilakukan degradasi dengan penyinaran matahari, sedangkan untuk kuantitatifnya dapat ditentukan dengan mengukur serapan warna dari larutan *metanil yellow* dengan menggunakan spektrofotometer UV/Vis.

Penentuan waktu degradasi *metanil yellow* dengan penyinaran matahari

Untuk larutan *methanil yellow* 6 mg/l disinari matahari dengan variasi waktu 30, 60, 90, 120 dan 150 menit menyebabkan persen degradasi meningkat dengan bertambahnya waktu penyinaran. Hal ini dikarenakan semakin banyak sinar yang diserap, jumlah radikal OH yang berperan dalam mendegradasi semakin banyak. Persen degradasi *methanil yellow* oleh penyinaran matahari berdasarkan waktu dapat dilihat dari gambar 3.



Gambar 3. Kurva pengaruh waktu degradasi metanil yellow terhadap penyinaran matahari

Degradasi zat warna methanil yellow dengan penambahan TiO_2-SnO_2 dengan variasi waktu penyinaran matahari

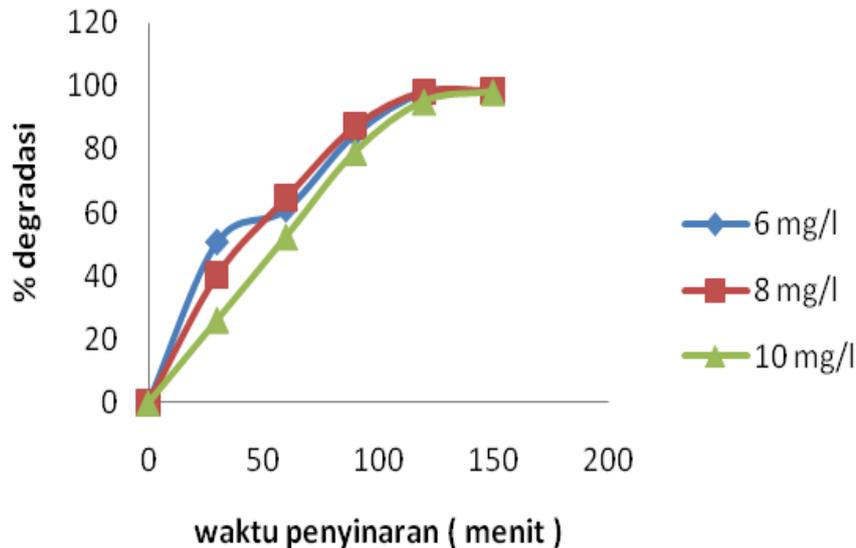
Dengan penambahan katalis TiO_2 -anatase 0,03 gram pada waktu 150 menit, *methanil yellow* 6, 8, dan 10 mg/l disinari oleh matahari mengalami kenaikan yang signifikan daripada menggunakan katalis SnO_2 saja. Akan tetapi penggabungan SnO_2 kepada TiO_2 -anatase akan meningkatkan persen degradasi dan aktifitas fotokatalitik. Pengaruh konsentrasi terhadap persen degradasi *methanil yellow* dengan penambahan katalis dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Pengaruh konsentrasi terhadap persen degradasi

| Kosentrasi | TiO_2 (%) | SnO_2 (%) | TiO_2-SnO_2 (%) |
|------------|-------------|-------------|-------------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 95 | 93 | 98 |
| 8 | 94 | 93 | 98 |
| 10 | 94 | 93 | 98 |

Dari tabel 1 diatas terlihat bahwa degradasi *metanil yellow* dengan penambahan katalis TiO_2 -anatase lebih besar daripada degradasi *metanil yellow* dengan penambahan katalis SnO_2 hal dikarenakan efek fotokatalitik dari TiO_2 -anatase lebih besar. Dalam hal ini pencampuran oksida logam TiO_2-SnO_2 berperan untuk membantu penyerapan spesi reduktor dan oksidator dan media bagi transfer elektron dari dan ke fotokatalis semikonduktor.

Dengan adanya pencampuran oksida logam TiO_2-SnO_2 dapat menurunkan energi gap (E_g) dan menyebabkan celah energi turun, elektron akan tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi. Pengaruh waktu terhadap persen degradasi *metanil yellow* 6 mg/l ; 8 mg/l dan 10 mg/l dengan penambahan 0,03 g TiO_2-SnO_2 dengan penyinaran matahari dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh persen degradasi terhadap waktu penyinaran methanil yellow 6 ; 8 dan 10 mg/l

Penentuan Intensitas Sinar Matahari

Nilai intensitas matahari (I) yang ditentukan melalui metoda aktinometri uranil oksalat didapatkan $1,13256 \times 10^{15}$ foton $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$

KESIMPULAN

Katalis TiO_2 -*anatase* yang dimodifikasi dengan penyisipan logam semikonduktor SnO_2 dapat digunakan untuk mendegradasi zat warna methanil yellow 6 mg/l selama 150 menit. Penambahan 0,03 g TiO_2 - SnO_2 dengan penyinaran matahari didapatkan persen degradasi 98,413%. Penyisipan logam semikonduktor SnO_2 dapat meningkatkan sifat fotokatalis dari TiO_2 -*anatase*.

DAFTAR PUSTAKA

- Karna wijaya, eko sugiharto, is fatimah, iqmal tahir dan rudatiningsih. *photodegradation of alizarin S dye using TiO_2 -zeolit and UV radiation*. indo J. Chem. 2006, 6 (1) 32 – 37
- Safni, Maizatisna, Zulfarman, dan T. Sakai. *Degradasi Zat Warna Naphtol Blue Black Secara Sonolisis dan Fotolisis dengan Penambahan TiO_2 -*anatase**. J. Ris. Kim. 2007. 1(1): 43 – 49.
- Safni, Sari, F. Maizatisna, dan Zulfarman, *Degradasi Zat Warna Mathanil Yellow Secara Sonolisis dan Fotolisis dengan Penambahan TiO_2 Anatase*. J. Sains Material Indonesia. 2009. 1(1): 47 – 51.
- Mohamad Steiman, Daniel Vildoza, Corinne Ferronato, Jean-Marck Chovelon, Photocatalytic degradation of azo dye Metanil Yellow: Optimization and Kinetic Modeling using a chemometric approach. *Elsevier*. Vol. 10. No. 1016: 06.015. 2007.

- S., Arief. A., Alif. dan N. William. *Pembuatan Lapisan Tipis TiO_2 -doped Logam M ($M = Ni, Cu$ dan Zn) Dengan Metoda Dip-Coating dan Aplikasi Sifat Katalitiknya Pada Penjernihan Air Rawa Gambut*. *J. Ris. Kim.* 2008, 2 (1) 69-73.
- Renita, manurung. Rosdanelli, hasibuan. irvan. *perombakan zat warna azo reaktif secara anaerob-aerob*. USU. e-usu repository@2004.
- Gunlazuardi, dan Andayan,i W. *Evaluasi Dekloronasi dan Pemecahan Cincin Aromatis Selama Degradasi Pentaklorofenol secara Fotokatalis pada Permukaan Lapisan Tipis Titanium Dioksida*, *Prosiding Seminar Nasional Himpunan Kimia Indonesia UPI Bandung*. 28-29 Mei 2002.
- Gunlazuardi, J. *Fotokatalisis pada Permukaan TiO_2 : Aspek Fundamental dan Aplikasinya*, *Seminar Nasional Kimia Fisika II*. Jakarta: 2001.
- Novrian, dony. Hermansyah, aziz. syukri. *studi fotodegradasi biru metilen dibawah sinar matahari oleh $ZnO-SnO_2$ yang dibuat dengan metoda solid state reaction*. *media sains*. vol. 5. no. 1 april 2013.